

【技術研鑽プログラム】 高速レーザラインスキャナ製作と降雪粒子形状計測への応用

○民田晴也^{A)}、久島萌人^{A)}、足立匠^{A)}、鈴木和司^{B)}、
大西崇文^{B)}、叶哲生^{B)}、伊藤和也^{B)}
A) 教育・研究技術支援室 計測・制御技術系
B) 教育・研究技術支援室 装置開発技術系

概要

低温・積雪環境での自然現象観測では機器安定性は勿論、厳しい作業環境でのメンテナンス性を考慮した設計が重要であり、開発者は寒冷環境で生じる諸問題を熟知していることが好ましい。この研鑽プログラムでは降雪粒子形状計測ラインスキャナを製作、厳冬期の1月、北海道大学 低温科学研究所で設営と調整作業を実施、降雪観測における留意点を学び、寒冷環境における自然現象観測機器の開発力向上を狙った。今回のラインスキャナでは長時間の安定観測はできなかったが、観測現場でトラブルシューティングを繰り返すことは現場力向上に役立ち、メンテナンス性の重要性を体験することができた。また、“名古屋大学—北海道大学 技術職員交流シンポジウム”と題した技術報告・交流会を低温科学研究所と共催、低温環境に対応する機器開発ノウハウを学び、将来の技術協力など活発な議論を行った。

1 はじめに

この技術研鑽プログラムは継続課題であり、昨年度製作したレーザラインスキャナ型の形状計測機器¹⁾を降雪粒子観測に応用する。低温・降雪・積雪環境で機器設営とメンテナンス作業を通し、降雪観測で生じる諸問題を体験することで、現場力強化（応急処置）、寒冷環境下の自然現象観測機器開発に必要な留意点を学ぶ。本プログラムでは、北海道大学 低温科学研究所（以下、北大低温研）の協力を得て、厳冬期の1月、低温・積雪環境の北大低温研で降雪粒子観測を目的にラインスキャナの設営と調整作業を実施した。季節性のある自然現象観測はシーズンを逃すと1年待つ必要があり、研究者は信頼性の高い観測機器を要望する。厳冬期の野外観測では機器安定性は勿論、設置性、メンテナンス性も重要であり、開発担当者は低温・降雪環境を熟知することが好ましい。低温環境では一般的な工具でも使用難度が上がり、落とした部品を探すのも苦勞する。積雪・凍結する地域では既設ケーブルを掘り起こすこともできず、安易なケーブル配線では積雪による断線も起こり得る。積雪・凍結路面では機器運搬も困難で、運搬・設営中の人為ミス（安全性も）への配慮も必要である。計測制御技術系は、太陽地球環境研究所、地球水循環研究センター、地震火山研究センターの各部局から寒冷地運用機器の開発・設置・保守の依頼業務があり、寒冷地環境に対応できる技術職員は必須である。装置開発技術系も機器筐体や設営器具製作を担当することがあり、寒冷地の作業性を熟知する職員が対応できればメンテナンス性の良い機器提供に期待ができる。

このプログラムには北大低温研職員との共同作業と技術交流から知識を拓ける狙いもある。北大低温研滞在中、“名古屋大学—北海道大学 技術職員交流シンポジウム”を主催、寒冷環境での自然現象観測ノウハウを学ぶと同時に職員交流の場を設けた。技術報告で各自の職場の特徴と業務内容を整理・発表することで、自己分析力・プレゼンスキルの向上に一役買うことができた。シンポジウム後には北海道大学の理学系技術部の施設見学を実施、多くの北大技術職員との交流機会となった（別報 “名古屋大学—北海道大学 技術職員交流シンポジウムの開催報告”を参照）。

2 レーザラインスキャナ

レーザラインスキャナ^{[1]-[3]}の概要を図1に示す。半導体レーザ(波長780nm; 5mW)と非球面プラスチックレンズ(25 mm径)でシート光を生成、計測幅16mmのLinear Photo Diode-array (125 μ m分解能)で受光、スライスレート20 kHzで高速スキャンし通過物の形状を計測する。計測開始/終了は受光素子に2ピクセル以上の影が存在するか?が条件となる。ラインスキャナは光学系に付着物があるとノイズ画像更新が継続(常時影あり)、物体通過に関係なく画像取得状態に陥るため、常時影となるピクセルを計測開始条件から除外するマスク機能を組み込み安定性を高めている。図2に計測画像の例として、積雪した雪をラインスキャナに落とした計測画像を示す。この画像は光軸アライメント不良による線状ノイズ影が両端部に生じている例でもある。計測シート光強度はガウス分布であり(中央が強く両端が弱い)、強度が弱い両端で線状ノイズが発生し易い。レーザ出力が高ければ安定するが、降水粒子観測では出力が高ければ良いというわけでもなく最適値がある。また、図2は粒子散乱により端部が明るくなる現象も示している。ラインスキャナ制御にはPIC32MXマイコンを利用、USBを介して電源供給とデータ転送を行う。このラインスキャナは実用化し、昨年度は山形県蔵王で冬季全期間の連続観測^[4]、今年度は降雪粒子立体計測を目標に45° 毎に計測シート光を配置した4-channelマルチラインスキャナを北大低温研で運用している(付録2参照)。

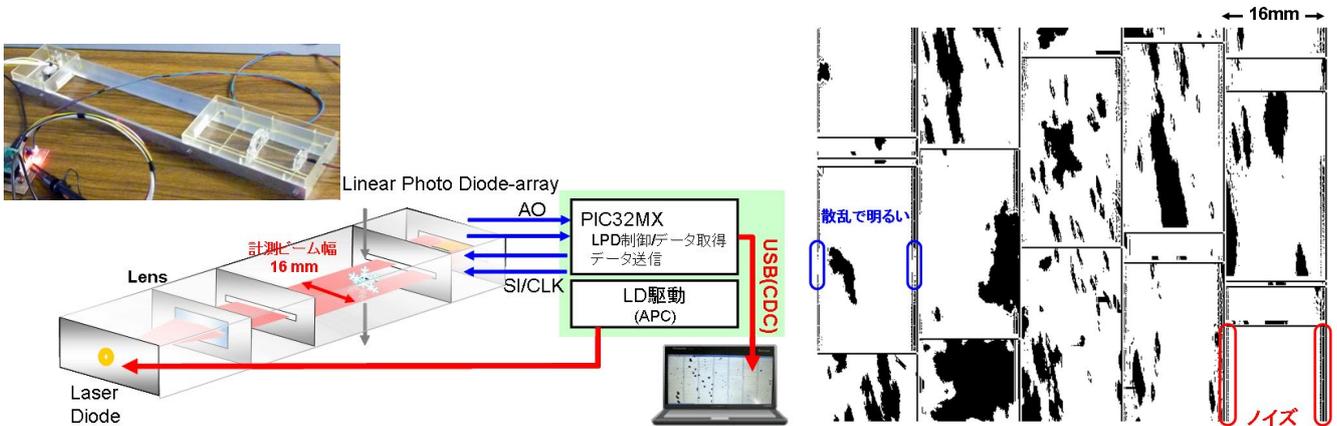


図1 レーザラインスキャナ概要

図2 計測画像例(擬似降雪粒子)

3 降雪観測

3.1 ラインスキャナ設営

ラインスキャナ組立と調整作業に北大低温研 技術部装置開発室の一角を、設営場所に低温研中庭と雲科学分野所有の観測小屋を借用した。ラインスキャナ設営・調整の全作業は若手職員らの自主性に任せ、屋内調整後、設営場所である低温研中庭の除雪を行い、観測小屋に信号線を引き込み設営した(図3)。簡易設営後、積雪した雪を降らせた擬似降雪粒子(図2)で動作確認と微調整を行った。計測画像両端部にノイズ影が発生することがあるが概ね安定動作と判断して、夜間の降雪を期待して運用状態で宿に戻った。

(a) LD PWR設定

(b) 光軸調整

(c) 観測小屋

(d) 野外設営



図3 ラインスキャナ組立、調整、設営

3.2 降雪観測結果

深夜から明方にかけて弱い降雪があり、期待して観測結果を確認したが、残念ながら降雪前にデータ収録プログラムがハングアップしていた。観測停止までの取得データと計測アルゴリズムを精査して停止原因を検査、対策を施して再観測に挑戦した（図4）。停止原因はデータ受信時のメモリ操作にあり、大量のノイズデータ受信（図2の両端ノイズ）が原因と結論付け光軸再調整を行った。再調整後、大量の擬似降雪粒子を計測、データ転送には時間がかかるがデータ収録プログラムがハングアップしないことを確認した。トラブルシューティング中に短時間の降雪があり、僅かなサンプル数だが実際の降雪粒子画像の計測ができた。

(a) Error停止画面

(b) 停止原因検討

(c) 擬似降雪試験

(d) 安定受信確認



図4 データ収録プログラムの停止原因調査と観測再開

3.3 観測停止原因調査

3.3.1 エラーコード確認

計測アプリケーション window 応答なし。windows エラーコード”0xc0000005”メモリアクセス違反で停止。C#（データ収録プログラム作成言語）のエラーメッセージでは”オブジェクト参照がオブジェクトインスタンスに設定されていません”と表示（図4a）。

3.3.2 トラブルシューティング

データ収録プログラムは、シリアルデータ受信イベントとタイマーイベントで動作している（図5）。データ受信イベント発生時、プログラムはシリアル受信データを受信バッファ（動的メモリ空間）に一時保存する。タイマーイベントで、受信バッファの内容をファイルに保存、受信バッファの中身を消去する仕組みになっている。ここでラインスキャナから大量のデータ送信があると、タイマーイベント発生前に受信バッファが溢れる可能性がある。根本的な解決はラインスキャナの計測安定性向上であるが、エラー耐性を高めるための受信バッファ増強、バッファ2重化（swapメモリ）、バッファ容量を超えない制御プログラミングも重要である。応急処置として、ラインスキャナまたはデータ受信プログラムでノイズデータを瞬時に破棄する手法が考えられる。但し、多量のノイズ計測とそのデータ転送時間は計測デッドタイムとなり粒子取得率が著しく低下、統計学的に有意な粒径分布は得られない。しかしながら、粒子画像が取得できていれば、何が降っていたか？雪片？霰？など粒子種別判別ができる観測データは取得でき、データを全く取得できない最悪の結果は回避できる。今回のトラブル対処では計測シート光強度とアライメント再調整により計測両端部ノイズ（図2）を抑制できたが、図6のようなLD発振不安定による瞬時ノイズは残った。瞬時ノイズ除去のため、ラインスキャナ計測アルゴリズムのデータ転送条件に最低スライス数の設定が好ましい。

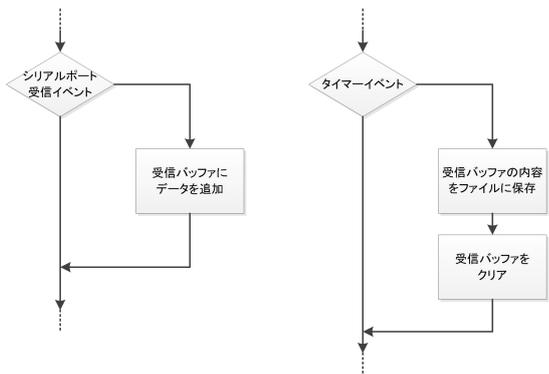


図5 データ収録アプリケーションイベント毎のフローチャート

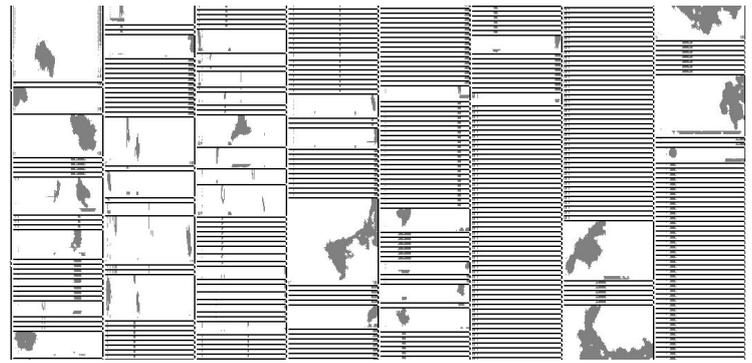


図6 再調整後の計測画像。LD 不安定による瞬時ノイズあり。固定パケット長データ受信と描画、計測時のメモリゼロ埋めが無い場合、直前画像の残骸を描画する場合あり。

4 総括

高速レーザラインスキャナを降雪観測に応用することで、センサ実用化プロセスの経験を積み、積雪環境での機器設営とメンテナンス作業を体験できた。機器設営では北大低温研技術部の協力を得る部分もあり、共同作業は良い交流の場にもなった。今回、設営したラインスキャナで安定した連続観測はできなかったが、トラブルシューティングを現場で繰り返し、1時間程度の短時間データ取得は達成、現場対応力向上に良い経験となった。また、北大低温研と共催した技術交流会では活発な議論を行い、寒冷環境に対応する機器開発ノウハウを学ぶことができた。降雪観測に限らず、名大太陽研の北極圏（カナダ）で運用する全天カメラ開発に対して、曇るメカニズムと曇り止めノウハウの説明、観測場所が積雪域であり積雪対策が重要であると助言を受けることができ、引き続き相談できる協力関係につながれば幸いである（別報”名古屋大学一北海道大学 技術職員交流シンポジウムの開催報告”を参照）。このように、寒冷環境での自然現象観測における留意点を実体験と技術交流会から学ぶことができ、今後の開発能力向上に寄与できたことを期待する。

謝辞

降雪観測実験の受入と技術職員交流シンポジウム開催にご尽力頂きました北海道大学低温科学研究所 技術部装置開発室の中坪俊一氏はじめ、低温科学研究所 技術部の皆様に深く感謝いたします。旅費は全学技術センター（技術研鑽プログラム）および地球水循環研究センターから支出されている。

参考文献

- [1] 民田晴也 ほか, 2014: 降水粒子観測プローブ開発を題材にした計測制御・装置開発の個とチーム力の強化, 第9回名古屋大学技術研修会, 名古屋大学, 平成26年3月4日.
- [2] Minda and Tsuda, 2012: Low-cost laser disdrometer with capability of hydrometeor imaging, *IEEJ TEEE*, **7**, 132-138.
- [3] Minda et al., 2014: Performance of a new low-cost laser disdrometer with rainfall intensity correction in heavy rainfall, *IEEJ TEEE*, **9**, 542-547.
- [4] 民田晴也 ほか, 2014: 低コストレーザラインスキャナによる降雪粒子計測(2) —降水粒子種別毎の粒径分布計測に向けて—, 日本気象学会 2014年度秋季大会, 福岡国際会議場, 平成26年10月23日.

付録1 シンポジウムと施設見学の様子



図 A1-1 シンポジウムの様子

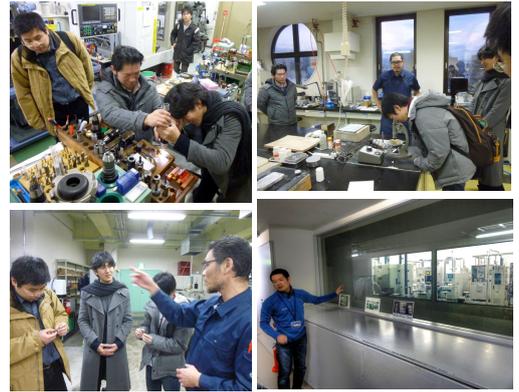


図 A1-2 施設見学の様子

付録2 4CHマルチラインスキャナ

ラインスキャナは実用化し、昨年度は山形県蔵王で冬季全期間の連続観測、今年度は降雪粒子立体計測を目標に 45° 毎に計測シート光を配置した 4-channel マルチラインスキャナを北大低温研で運用している。この機会に 4-channel ラインスキャナを簡単に紹介する。図 A2-1 に 4-channel ラインスキャナの外観を、図 4 に観測画像速報：地吹雪による多量の微小粒子（図 A2-2a）、霰（図 A2-2b）、雪片画像の例（図 A2-2c, d）を示す。粒子立体化アルゴリズムは現在開発中。研鑽プログラム版に比べ、計測幅は 16 mm から 48mm に拡幅、データ転送方式は Gigabit LAN (UDP) に変更。マルチラインスキャナ化により計測シート光に高度差を設け、粒子落下速度を計測、ラインスキャナの弱点である可変鉛直分解能から絶対鉛直分解能計測に対応。制御部は FPGA (Xilinx Zynq-7000) を利用、データ収録は省スペースの手のひらサイズ PC (Intel NUC) で安定性の高い Linux OS で運用、遠隔監視およびデータ転送を行っている。

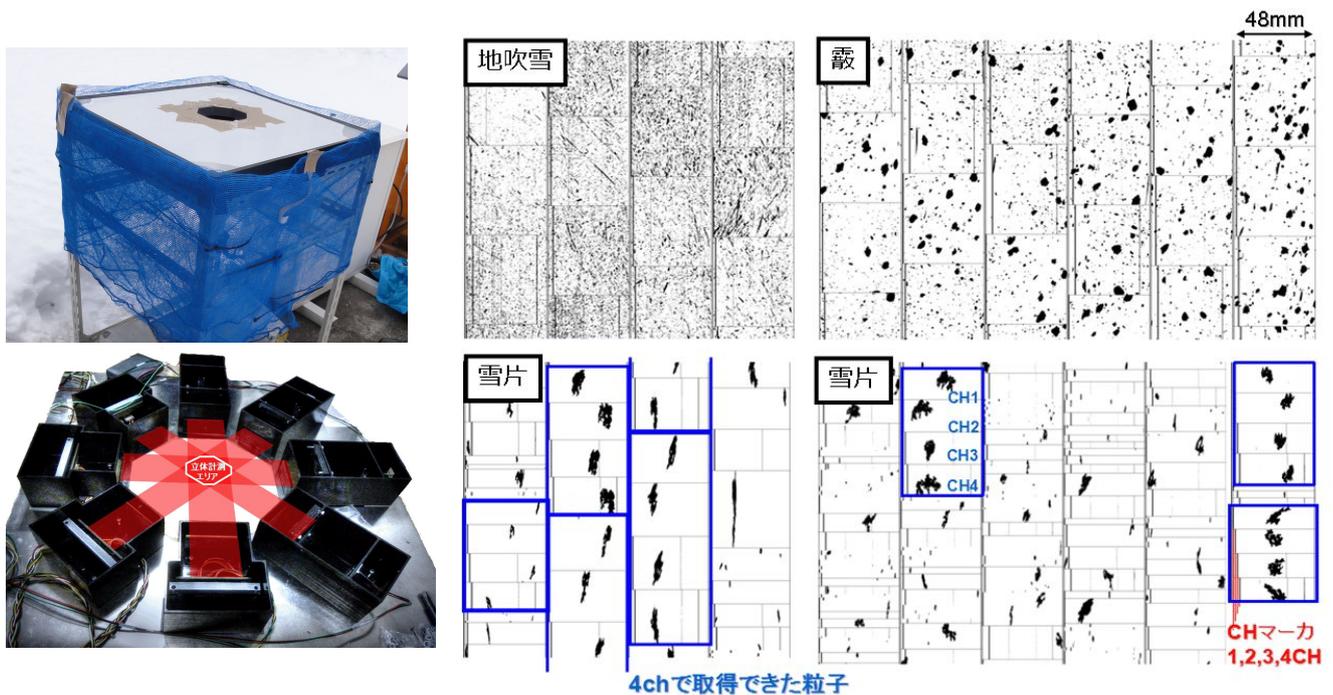


図 A2-1 4ch ラインスキャナ外観。
立体計測は 4 ビーム交差域。

図 A2-2 降雪粒子計測画像の例。左端ラインはマーカ(CH1-4)。
青枠は立体化できる事例 (4ch で粒子を捕捉)。